

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl<sup>7</sup>

G02B 6/26  
H04B 10/18

## [12] 发明专利申请公开说明书

[21] 申请号 00133822.6

[43] 公开日 2001 年 6 月 27 日

[11] 公开号 CN 1300950A

[22] 申请日 2000.11.3 [21] 申请号 00133822.6

[30] 优先权

[32]1999.11.5 [33]US [31]09/434,376

[32]2000.8.7 [33]US [31]09/634,707

[71] 申请人 JDS 尤尼费斯公司

地址 加拿大安大略

[72] 发明人 保罗·科尔伯恩 付晓丽

[74] 专利代理机构 中国国际贸易促进委员会专利商标事  
务所

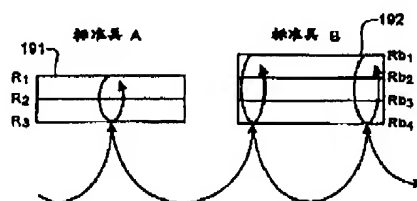
代理人 王茂华

权利要求书 4 页 说明书 15 页 附图页数 11 页

[54] 发明名称 可调谐色散补偿器

[57] 摘要

公开了用于对光信号进行色散补偿的方法和装置。通过提供两个滤波器,可以引入可控的色散量,以使色散偏移或得以补偿,所述两个滤波器在一波段上有斜的且符号相反的色散,其中一个滤波器是可调谐的。优选的是,滤波器之一是呈多谐振腔 GT 标准具形式的可调谐周期性装置。在一个最佳实施例中,所述滤波器可被设计成能提供多种可控但有所不同的恒定量的色散。



ISSN 1008-4274

## 权 利 要 求 书

1、一种色散补偿装置，它用于补偿光信号中波长的至少一预定波段的色散，所述装置包括：

—第一G T谐振器，它具有第一F S R以及在预定波段中一单斜度或单调增加或减少的色散；

—第二G T谐振器，它具有不同的F S R并具有在预定波段中一单斜度或单调减少或增加的色散，其中在上述波段中，第二谐振器的色散（的斜率）在符号上与第一G T谐振器的色散（的斜率）相反；所述第二G T谐振器以光学的方式与第一G T谐振器耦合，以使被发射进第一G T谐振器的光射向第二G T谐振器；第一G T谐振器与第二G T谐振器中的至少一个是可调谐的，以使此可调谐振器的F S R能以受控的方式变化；以及

—控制器，它用于控制此可调谐振器的F S R，并用于控制上述波段内的色散量。

2、如权利要求1的色散补偿装置，其特征在于，被发射进第一和随后进入第二G T谐振器的光信号，以加倍的方式通入上述标准具中的一个至少一次。

3、如权利要求1的色散补偿装置，其特征在于，该装置用于同时补偿出现在多波道系统的各波道中的色散，所述多波道系统具有多波道信号，并在相邻波道之间具有一预定的波道间距，其中第一和第二G T谐振器中的至少一个具有这样的F S R，它基本上等于或就是多波道光学系统的波道间距的整数倍；或者，其中该波道间距是上述G T谐振器的F S R的整数倍。

4、如权利要求1的色散补偿装置，其特征在于，所述第一和第二G T谐振器中的至少一个包括多个光学腔。

5、如权利要求4的色散补偿装置，其特征在于，第一和第二GT谐振器的色散用于提供组合的色散，该色散通常以线性的方式增加、通常以线性的方式减少，以及在该预定波段内基本上是恒定的。

6、一种色散补偿装置，其包括：两个标准具，其中所述标准具中的至少一个是一多腔标准具，所述标准具中的至少一个是可调谐的，以使其FSR能以受控的方式变化；以及一控制器，它用于控制可调谐标准具的光路长度，所述标准具之一具有基本上小于另一标准具的FSR；所述装置是可调谐的，从而能在可调谐标准具的光路长度产生变化时，在一具有固定波长范围的光波道内提供或多或少的色散。

7、一种色散补偿装置，它用于补偿具有至少一个与光波道相对应的分量的光信号中的色散，所述装置包括：

一第一光学滤波器，它响应至少一预定波段中的光而具有一单斜度或单调增加或减少斜度的色散输出；

一第二光学滤波器，它响应同一预定波段中的光而具有一单斜度或单调的相反斜度的色散输出；所述第二光学滤波器以光学的方式与第一光学滤波器耦合，以使被发射进第一滤波器的光射向第二滤波器；第一光学滤波器与第二光学滤波器中的至少一个是可调谐的，以使此可调谐滤波器在预定波段的色散产生变化，从而使所述装置的色散能以受控的方式变化；以及

一受处理器控制的装置，用于调谐此可调谐滤波的，以改变至少一预定波道中所述装置呈现的色散量。

8、如权利要求7的色散补偿装置，其特征在于，所述可调谐滤波器是GT谐振器。

9、如权利要求7的色散补偿装置，其特征在于，所述装置在前

述预定波段的色散基本上恒定。

10、如权利要求9的色散补偿装置，其特征在于，所述装置在前述预定波段且在该可调谐滤波器的调整范围内的色散基本上恒定。

11、如权利要求8的色散补偿装置，其特征在于，所述可调谐的标准具具有一可调谐的FSR。

12、如权利要求8的色散补偿装置，其特征在于，所述第一和第二滤波器均是GT谐振器。

13、如权利要求12的色散补偿装置，其特征在于，所述GT标准具中的至少一个是一多谐振腔标准具。

14、如权利要求12的色散补偿装置，其特征在于，所述第一和第二GT谐振器均配置成使射进所述装置的光信号加倍通过GT标准具中的一个一次以上。

15、一种用于对具有至少一预定波段的光信号中的色散进行补偿的方法，所述方法包括下列步骤：

提供一第一光学滤波器，它在至少该预定波段中具有一单斜度或单调斜度的色散输出响应；

提供一第二光学滤波器，它在至少该预定波段中具有一单斜度或单调斜度的色散输出响应，其中所述第一与第二滤波器具有符号相反的斜率；

以可控的方式调谐所述第一与第二滤波器中的一个，以改变该预定波段中由滤波器导致光信号的色散量。

16、如权利要求15的方法，其特征在于，所述可调谐滤波器

是G T谐振器，它具有第一F S R。

1 7、如权利要求1 5的方法，其特征在于，可通过改变上述谐振器的光路长度来调谐所述可调谐G T谐振器。

1 8、一种可同时对多波道光信号的多个波道中的偏移组延迟提供色散补偿的方法，所述多波道光信号在相邻的波道间有预定的波道间距，上述方法包括下列步骤：

提供多波道光信号，需要对该光信号中的各波道进行色散补偿；

将上述光信号发射至两个不同的周期性装置，这两个装置具有相对该光信号的波长基本上不变的振幅输出响应；所述周期性装置具有在相位方面相对所述光信号的波长周期性地变化的输出响应，这种周期变化的相位对应于波道的间距；以及

接收一相位被补偿了的输出信号，该输出信号的相位是被上述周期性装置以周期性的方式进行调整的，所述周期对应于波道间距。

## 可调谐色散补偿器

本发明总体上涉及一种用于补偿光纤通讯系统中色散的装置。

随着对现有光纤设施日益增加的需求，光波通讯提供者正在寻求从不安装额外光纤的现有光纤中增加供用户使用的可用带宽的途径。光波通讯系统依靠光纤将光波信号从系统内的一个位置传至另一个位置。

单模和多模光纤均具有模式和色散参数，这些参数源于光纤的材料和波导特征。色散会使一种波长的光波以与另一种波长的光波有所不同的速度通过光纤传播。因此，例如，输入至光纤一端的短脉冲会作为一较宽脉冲从另一端出射。脉冲增宽效应以致于色散会限制经由光纤传送信息的速率。

业已提出了若干种方案以避免或至少是减少色散效应。这些方案中包括色散补偿技术。

当前的最高速光纤通讯系统使用了外部调制的激光器，以最大限度地减少激光的“啁啾声”并减少光纤中的色散效应。即便使用了外部调制，也存在有一定量的“啁啾声”或者会增宽激光光谱，因为，任何调制信号都必须包含有频率的“边带”，这种边频带约与调制速率（modulation rate）一样宽。因此，较高位速率的传输系统会有较宽的边频带，同时因有较短的位周期而能容忍较少的相位延迟。因此，下一代高位速率的系统对光纤的色散和诸如该系统内WDM之类的任何元件都很敏感。

光纤的色散在1550nm的通讯窗口上大致是恒定的，并且可由包括色散补偿光纤、FBG等在内的多种技术来加以补偿。但是，诸如WDM之类的某些滤波元件具有显著的色散特征，因为在传输光谱与色散特征之间存在基本的克莱玛-克朗宁式关系。这种类型的色散特征一般会在狭窄的WDM通频带上显著的变化，所以难以用诸

如色散补偿光纤之类的传统技术进行补偿。本发明的一个目的是对来自包括多路复用器、去复用器和数字复用器在内的WDM器件的色散进行补偿。

传统的光通讯系统周知使用了直接调制的半导体激光器。通过与单模光纤的色散特征组合，这些激光器的啁啾声会导致光学脉冲的展宽并会导致传输中的码间干扰和整体衰减。当前和“下一代”高速系统使用了发射器，这些发射器使用了窄谱线宽度的激光器以及波长约在1550nm的窗口或范围内的外部调制器。这些外部调制器通常具有非常低的啁啾声，某些结构具有零或负补偿的啁啾声。然而，使用通常的单模光纤，在10GB/s的传输速率下传输距离仍因色散而被限于约80公里。

上述问题的一种解决方案是使用色散偏移光纤，这种光纤在1550nm的窗口中几乎没有色散。但是，用色散偏移光纤来代替现有光纤是昂贵的。业已提出了其它的方法，如光脉冲整形以减少激光啁啾声、用半导体激光放大器使啁啾声作用于传输信号，所述啁啾声能抵消直接调制的半导体激光的啁啾声。

与本发明的教导更为一致的方法是试图减少接收器处或其附近或者发射器与接收器中间的码间干扰。重要的是，任何能提供与光纤色散相反的足够色散的介质都可用作光脉冲均衡器。例如，周知使用了一种特殊的光纤，它在所需的工作波长上具有相同的色散，但符号与传输用光纤的色散相反。其它的方法包括：如以Li等人名义的US专利5,909,295号和Shigematsu等人在授于Sumitomo电子公司的US专利5,701,188中所公开的那样使用了光纤的布拉格光栅；以及，使用了平面光波电路(PLC)延迟均衡器。不幸的是，特定的补偿光纤具有高插入损耗，而且在许多应用中并不是最佳的选择。对某些领域的应用来说，光纤光栅通常因其窄带宽和固定的波长而不是最佳的。尽管是可调谐器件，但PLC也是窄带宽的，制造有大色散均衡率的PLC是困难的。Shigematsu等人公开了一种将这两种不是最佳的选择混合起来的形式，即带有啁啾声布拉格光栅的色散

补偿光纤。

专门安装的光纤链路所需的色散补偿的精确量是未知的，并且随波长或诸如温度之类的环境状态而变。所以，需要有一种能提供可调谐色散补偿量的装置，以简化安装并提供对色散的实时控制。

Cimini L.J 等人发表于 1990 年 5 月《光波技术杂志》Vol.8, No.5 的题为“消除激光啁啾声和光纤色散效应的光学均衡”的论文说明了一种光学均衡器，它能消除  $1.55\ \mu\text{m}$  的高速长距离光纤通讯链路中的激光啁啾声和光纤色散效应。还讨论了一种用于以自适应方式确定均衡器响应频率的控制方案。Cimini 等人描述了这样一种装置，它在共同形成一谐振腔的一第一部分反射镜和一第二 100% 反射镜上仅有一共用的输入/输出端口。所述控制方案试图通过从接收器获得反馈来跟踪信号的波长。均衡器的振幅响应以及输入/输出端口处的波长基本上是平的，因此，所提出的控制方案略微复杂，从而需要对光学接收器处的高速数据进行处理。而且，所提出的控制方法据说对 RZ 信号有作用，对 NRZ 信号不起作用，NRZ 信号是一种更为通用的数据格式。尽管 Cimini 等人所述的均衡器似乎能执行预定的基本色散补偿功能，但仍存在有对均衡器频率响应的位置进行控制的改进型方法的需求，并且，存在有对这样一种均衡器的需求，这种均衡器能在较宽的波长范围内提供足够的时间位移。以 Cimini 等人名义的美国专利第 5,023,947 号进一步说明了这种装置。

具有一个基本上完全反射的端面以及一部分反射的前面的法布里-珀罗标准具周知为 Gires-Tournois (GT) 标准具。在美国光学学会 1998 年出版的 Benjamin B. Dingle 和 Masayuki Izutsu 的题为“用于波分复用网络系统应用的带有 Michelson-Gires-Turnois 干涉仪的多功能光学滤波器”的论文中，说明了下文中称为 MGT 装置的装置。

1996 年 9 月 17 日颁发的以 Ip 名义授于加拿大 Nepean 的 JDS Fitel 公司的美国专利 5,557,468 示出了一种双 GT 标准具色散补偿器。5,557,468 号专利指出，将两个具有同样反射率的滤波



器层叠到输入/输出镜上虽被提出过,但对增加均衡器在其上工作的波长区域来说并不会最佳的结果;Ip 专利说明了通过使图 2 所示的标准具 100 与具有不相类似反射率特征的另一个标准具相层叠并沿其中心频率响应略有偏移,可以相对时间延迟和工作波长相当顺利地扩大滤波器的输出响应的范围。Ip 专利的图 6 中示出了一种标准具均衡器 160,它带有两个不相似的层叠标准具 162 和 164。Ip 专利的图 7 中示出了每个标准具 162 和 164 的输出响应和层叠均衡器 160 的输出响应。通过使标准具层叠,工作波长会从 5 GHz 倍频至 10 GHz,并且,时间延迟会增加约百分之二十五。第一级标准具(腔)162 具有一第一反射镜,其反射率  $R_1 = 55\%$ ,该反射镜用作输入/输出端口;第二级标准具(谐振腔)164 具有一第一反射镜,其反射率  $R_2 = 38\%$ 。各谐振腔中的第一与第二反射镜之间的标称距离“d”为 2 mm。如图 7 所示,各谐振腔的中心工作波长的偏移量约为 5 GHz,该值对应于谐振腔间距( $d_1 \neq d_2$ )之间较小的差值。尽管 Ip 专利的两个标准具达到了扩大工作波长范围的预定目的,但是,最好有这样的装置,它能在感兴趣的波段提供可控的恒定量的色散。也就是说,在调谐的情况下,可以导到允许的不同恒定量的色散。

在图 1 中例举出的 MGT 装置可用作窄带波长去复用器,这种装置依赖于所反射的电场与平面镜 16 所反射的电场的相互干涉。所使用的标准具 10 具有 99.9%反射的后反射器 12r 以及有约 10%反射率的前反射器 12f,所以,仅利用了来自前反射器 12f 的输出信号。

目前,更广泛地使用了交错插入/去交织电路。这种专用的多路复用器/去复用器有交错插入波道的功能,以便交错插入两个数据流例如由波道 1、3、5、7 等构成的第一数据流或用波道 2、4、6、8 等的第二数据流来多路复用上述第一数据流。当然,也可以相反地使用上述电路,以便将已经交错插入的信号去交织成多个波道去交织数据流。以 Copner 等人名义的共同未决的 US 专利申请序列号

0 9 / 2 7 5 9 6 2 中说明了一种这样的经数字复用器电路，以 Colbourne 等人名义的共同未决的 U S 专利申请书序列号 0 8 / 8 6 4 8 9 5 中说明了另一种电路。尽管数字复用器电路能执行预定的功能，但是，业已发现，某些这样的电路在各波道内有不应有的周期性色散。本发明可消除或减少这种周期性的色散。还应该注意，在许多情况下，不应完全消除所有的色散，据信少量的这种色散可用于减少 W D M 系统中的非线性效应；所以，本发明可用于按需要量来减少色散。

因此，本发明的目的是克服上述先有技术的某些局限性。此外，本发明的目的是提供一种被动装置，它能同时补偿或减少多个有相间距波长的波道上的色散。

本发明的另一个目的是提供一种色散补偿器，它能在预定波段上提供一定量的色散。

本发明的再一个目的是提供一种色散补偿器，它可提供一种可调谐色散补偿器，这种补偿器至少在一定的波长范围内是可调谐的。

本发明的还一个目的是提供一种装置和方法，所述方法能通过提供一种色散补偿装置对色散进行可调谐补偿，所述色散补偿装置能在有关波段上提供不同的恒定量的色散，其中，可通过调谐所述装置来控制上述不同的量。

依照本发明，提供了一种色散补偿装置，它用于补偿光信号中波长的至少一种预定波段上的色散，所述装置包括：

一第一 G T 谐振器，它具有第一 F S R 以及在预定波段中一单斜度或单调增加或减少的色散；

一第二 G T 谐振器，它具有不同的 F S R 并具有在预定波段中一单斜度或单调减少或增加的色散，其中在上述波段中，第二谐振器的色散的斜率在符号上与第一 G T 谐振器的色散的斜率相反；所述第二 G T 谐振器以光学的方式与第一 G T 谐振器耦合，以使被发射进第一 G T 谐振器的光射向第二 G T 谐振器；第一 G T 谐振器与第二 G T 谐振器中的至少一个是可调谐的，以使此可调谐振器的自由光谱范围 ( F

S R) 能以受控的方式变化; 以及

一控制器, 它用于控制此可调谐振器的 F S R, 并用于控制上述波段内的色散量。

依照本发明, 还提供了这样一种色散补偿装置, 其包括: 两个标准具, 其中所述标准具中的至少一个是一多谐振腔标准具, 所述标准具中的至少一个是可调谐的, 以使其 F S R 能以受控的方式变化; 以及一控制器, 它用于控制可调谐标准具的光路长度, 所述标准具之一具有基本上小于另一标准具的 F S R; 所述装置是可调谐的, 从而能在可调谐标准具的光路长度产生变化时于光波道内提供或多或少的色散。

依照本发明, 提供了一种色散补偿装置, 它用于补偿光信号中的色散, 所述装置包括:

一第一光学滤波器, 它响应至少一预定波段中的光而具有一单斜度或单调增加或减少斜度的色散输出;

一第二光学滤波器, 它响应同一预定波段中的光而具有一单斜度或单调的相反斜度的色散输出, 所述第二光学滤波器以光学的方式与第一光学滤波器耦合, 以使被发射进第一滤波器的光射向第二滤波器; 第一光学滤波器与第二光学滤波器中的至少一个是可调谐的, 以使此可调谐滤波器在预定波段的色散产生变化, 从而使所述装置的色散能以受控的方式变化; 以及

用于调谐上述可调谐滤波器的装置。

依照本发明的另一个方面, 提供一种用于对光信号中的色散进行补偿的方法, 该方法包括下列步骤:

提供一第一光学滤波器, 它在至少该预定波段中具有一单斜度或单调斜度的色散输出响应;

提供一第二光学滤波器, 它在至少该预定波段中具有一单斜度或单调斜度的色散输出响应, 其中所述第一与第二滤波器具有符号相反的斜率;

以可控的方式调谐所述第一与第二滤波器中的一个, 以改变该预

定波段中由滤波器导致的色散量。

依照本发明，还提供一种可同时对多波道光信号的多个波道中的偏移组延迟提供色散补偿的方法，所述多个波道光信号在相邻的波道间有预定的波道间距，上述方法包括下列步骤：

提供多波道光信号，需要对该光信号中的各波道进行色散补偿；

将上述光信号发射至两个不同的周期性装置，这两个装置具有相对该光信号的波长基本上不变的振幅输出响应；所述周期性装置具有在相位方面相对所述光信号的波长周期性地变化的输出响应，这种周期变化的相位对应于波道的间距；以及

接收一相位被补偿了的输出信号，该输出信号的相位是被上述周期性装置以周期性的方式进行调谐的，所述周期对应于波道间距。

以下连同附图说明本发明的示例性实施例，在附图中：

图 1 是先有技术的 Michelson-Gires-Turnois 干涉仪的电路框图；

图 2 是一去数字复用器装置的输出响应的幅度与波长的关系图；

图 3 是图 2 所示的去数字复用器装置的色散与波长的曲线图；

图 4 是作为与图 2 的去数字复用器有关的色散的预定输出响应的色散与波长的曲线图；

图 5 是本发明的单谐振腔 G T 色散补偿器的输出响应的幅度与波长的曲线图；

图 6 是本发明的上述色散补偿器的输出响应的色散与波长的曲线图；

图 7 是一已知单反射 / 透射标准具的白光输入信号的振幅与波长相应的曲线图，它说明了有关波段中的波道；

图 8 是图 7 中单标准具的色散与波长的曲线图；

图 9 是一多级标准具的白光输入信号的更为平坦的幅度与波长响应的曲线图，它说明了有关波段中的波道；

图 10 是图 9 的多级标准具的色散与波长的曲线图；

图 11 和 12 是周知先有技术的非周期性色散补偿装置的强度与波长以及色散与波长的曲线图；

图 1 3 是一双谐振腔 G T 标准具的侧视图, 所述标准具被调谐成能补偿数字复用器电路所提供的输出信号;

图 1 4 是本发明一个实施例的色散补偿器的时间延迟与波长的曲线图;

图 1 5 是一曲线图, 它说明了某些 W D M 装置的色散及其周期性性质;

图 1 6 a、1 6 b 和 1 6 c 是曲线图, 它们说明了呈双通 5 0 G H z 数字复用器形式的双 W D M 滤波器的损耗、组延迟和色散;

图 1 7 a 和 1 7 b 分别是一色散补偿器的时间延迟和色散的曲线图, 所述补偿器具有这样的特征, 这些特征能补偿具有图 1 6 a 至 1 6 c 特征的装置;

图 1 8 a 和 1 8 b 分别是单谐振腔 G T 色散补偿器的按 p s 的时间延迟和按 p s / n m 的色散的曲线图;

图 1 9 是本发明色散补偿器的概略图, 所述色散补偿器具有一第一 G T 标准具, 它具有一第一输出响应并以光学的方式与一第二 G T 标准具耦合, 所述第二 G T 标准具具有不同的输出响应, 其中, 其斜率在符号上与第一 G T 标准具的斜率相反。

图 2 0 a 是图 1 9 所示的第一 G T 标准具的色散与波长的输出响应的曲线图;

图 2 0 b 是图 1 9 所示的第二 G T 标准具的色散与波长的输出响应的曲线图;

图 2 1 a 至 2 1 c 是曲线图, 它们说明了第一 G T 标准具、第二 G T 标准具以及标准具系统在应用了不同控制度时双通过图 1 9 的第二 G T 标准具之后的组合输出的色散;

图 2 2 是一框图, 它说明了本发明的色散补偿器控制系统。

就本说明书言, 依照 Webster 第九版大学词典, “单斜度”或“单调”的定义是指不随自变量的增加而增加或减少的函数。换句话说, 这种函数的一次导数总是至少为零或至多为零。单调函数可以是不连续的即可以有水平(平坦)的分段。但是, 为了明确地限定周期输出

函数中波长的位置，所述水平或平坦的分段不应比上述周期性函数的单个周期长。所述函数应在上述周期函数的有关周期范围内是连续的。

参照图 1，示出了先有技术的 Michelson-Gires-Turnois 干涉仪的框图，所述干涉仪可用作呈数字复用器 / 解数字复用器电路形式的窄频带波长去复用器 / 多路复用器。如上所述，数字复用器电路通常有不想要的色散，这种色散会在多波道系统的相邻波道内重复。重要的是注意，正如从以下的曲线图中所看到的那样，波道内的色散会在相邻的波道内重复出现。图 2 表示对于一数字复用器电路的强度响应，其中，在假定向数字复用器提供有该数字复用器电路操作范围内的等强度光的情况下，画出了强度与波长。参照图 3，示出了按波长画出的数字复用器的色散，结果是周期性的响应，从而说明了每个窄频带波道都有类似的经历。因此，各波道内的色散轮廓几乎以同样的方式重复，而不仅仅是跨越覆盖有关波道的波长范围的线性现象。相当令人吃惊的是，相邻波道的中心波长之间基本上没有色散，并且，通常的单个线性色散补偿器不会提供所需的补偿。去掉各个波道以及对各波道作色散补偿是困难的、高成本的并且会使得系统有相当不希望有的损耗，因为需要“n”个色散补偿器来对“n”个波道进行补偿。

在某些情况下，应使 WDM 系统的各窄频带波道中有某种色散，以便抑制非线性效果，所说的非线性效果会使所述系统中有不希望有的噪音。图 4 说明了本发明色散补偿器的预定输出响应，其中画出了色散与波长的关系。因此，需要一种能提供周期性色散响应的装置，这种响应会基本上消除图 3 的输出响应，从而导致图 4 所示的输出响应。本发明提供了能达到这一目的的装置和方法。图 1 3 示出了一双谐振腔 G T 标准具色散补偿器，它具有 1 0 0 G H z 的自由光谱范围 ( F S R ) 并设计成能补偿带有宽度为 0.2 n m 波道的信号，所述波道分开 1 0 0 G H z ( 约 0.8 n m )。G T 标准具的 F S R 应按下式通过适当地选择谐振腔间距而与波道宽度 / 间距相匹配：

$$d=c/(2*n*FRS)$$

其中，d 是谐振腔间距，c 是光速，n 是构成标准具谐振腔的材

料的折射率，FRS是按频率单位表示的标准具的自由光谱范围。

这种结构与发表于1996年2月15日的《电子学通讯》Vol.32, No.5 371—372页的D.Garthe, J. Ip, P. Colbourn, R. E. Epworth, W. S. Lee 和 A. Hadjifotiou 的题为“可在整个铍窗口操作的低损耗色散均衡器”一文所述的Gires-Turnois干涉仪相类似，但带有一多谐振腔结构，以便按需改进色散特征。在图13中，示出了标准具具有：一第一反射表面，它有反射率 $R_1$ ；一第二反射表面，它有反射率 $R_2$ ；以及，一第三反射表面，它有基本上为100%的反射率 $R_3$ 。 $R_2$ 和 $R_3$ 大于零、小于100%。这三个表面之间的两个间隙具有厚度 $d_1$ 和 $d_2$ ，它们是相等的或者一个是另一个的整数倍，以便给出周期性的响应。在必须补偿周期性间隔的多个波长时，应该有一周期性的响应。图5和6说明了在给定图2所示的输入信号情况下获得色散中整个输出响应所需的强度与波长以及色散与波长的输出响应。必须特别注意要获得多谐振腔装置的镜面间的精确相等的间距，因为这种间距必须在零点几的波长内是相等的。例如，这一点可通过同时抛光镜面间隔件并利用光学接触技术将部件连接起来而实现，在这种情况下，应将镜面涂层设计成该涂层的反射相位是相等的。另外，所述装置可在组装过程中主动地对齐，以获得镜面之间的适当间距。

图5示出了需要有这样的装置，它在强度方面有基本上为平坦的输出响应。更简单地说，输入信号的强度应该在通过色散补偿器之后是恒定的。应尽可能地没有衰减。所述响应是GT标准具的特征。可以返回基本上全部的投入能量，从而能产生几乎为平坦的振幅输出响应。所述反射镜的反射率为0.8%，0.24%和99.8%。实践中，损耗可随波长而变化0.1—0.3 dB。需要如图6所示的与图3所示的完全相反的色散特征，以便进行补偿。图7说明了既能透射又能反射的单个标准具的振幅和色散特征。可以看出，振幅响应在各中心波长处是一系列峰值，并且图8示出该振幅响应的色散特征。这种周期性的峰值振幅响应是不适当的。相反，图9和10所示的GT多级标



准具的响应是最佳的。用多个标准具来提供适当的宽带或波道，从而会有基本上为平坦的振幅输出响应，图10所示的色散特征在斜率方面基本上与图3所示的输入信号的色散相反，从而能形成如图4所示的整体色散。当然，通过改变折射率 $R_1$ 和 $R_2$ ，可形成特定的振幅响应。此外，如果需要的话，可设置额外的谐振腔。

参见图14示出一双谐振腔色散补偿器的曲线图，该补偿器具有一第一谐振腔和GT谐振腔。所述谐振腔由两块石英构成，从而使反射端面间有 $1.04\text{ nm}$ 的预定间隙。所述装置具有：一前输入/输出面，其反射率为 $1.7\%$ ；一向外相反朝向的端面，它有基本上能全部反射的 $99.8\%$ 的反射率；以及，一第二面，它有 $30\%$ 的反射率并设置在上述前面与向外朝向的端面之间。图14中示出了时间延迟与波长的周期性性质。图15说明了色散，其中，从图中可以看出该色散的周期性性质。通过提供一双谐振腔装置，较平坦的顶部会导致所示的时间延迟曲线，从而能更适合需要作补偿的通常装置的延迟特征。相反，较佳的是，图18a和18b说明了单谐振腔GT补偿器的色散特征，所述补偿器的前后面分别具有 $0.22$ 和 $0.998$ 的反射率。这种装置的缺点是，在获得适当的强度响应和色散斜率时，线性倾斜的区域（在波长方面）宽得不足以补偿WDM装置的整个通频带。其它实施例中示出的双谐振腔装置能使更宽的波道得到补偿。

图16a、16b和16c是呈双通 $50\text{ GHz}$ 数字复用器形式的双WDM滤波器的损耗、组延迟和色散的曲线图。需要来自波道中心的 $\pm 0.1\text{ nm}$ 的补偿。

图17a和17b分别是本发明反射镜反射率为 $0.8\%$ 、 $24\%$ 和 $99.8\%$ 的双谐振腔反射色散补偿器的时间延迟和色散的曲线图。如图所示，在来自波道中心的 $\pm 0.1\text{ nm}$ 的通频带上提供约等于并且与图16a、16b和16c所示实际装置的响应相反的色散补偿。本发明的装置据信在每个波道上均能对图16c的色散进行补偿。

本发明有两个优异的方面。首先，本发明人业已发现，去交错插入的光信号中的色散是周期性的并且在所述波长的整个频带上不仅仅



是线性的。第二，还发现了，G T标准具具有基本上相反的色散特征，该特征是周期性的；通过将周期选定为与数字复用器的周期相匹配，可实现在一组波道或有关波段上的同时补偿。此外，通过用一谐振腔有同样周期或是上述周期的倍数的多谐振腔装置，可以对色散补偿和波道宽度进行控制。

在观察图 2 至 6 之后，可以看出用本发明装置来补偿例如输出信号中的固定重复色散的优点，所述输出信号接收自多路复用器，该多路复用器有周期性重复的色散特征。但是，本发明可以提供其它未预料到的优点。诸如色散补偿光纤之类的色散补偿器可用于为光纤提供固定的负或正的色散。但是，色散补偿光纤不能补偿与色散无关的波长。如果光纤系统中使用的WDM装置的光学频率的周期（或中心波道波长）与G T补偿器的周期（或中心波道波长）略有不同，则在光谱的一端，G T补偿器在波长方面会略低于WDM装置，从而会导致平坦但为负的色散，而在光谱的另一端，G T补偿器在波长方面会略高于WDM装置，从而会导致平坦但为正的纯粹的色散。本发明的G T谐振器可补偿：（a）各波道通频带中的WDM色散；（b）在通过调谐G T补偿器的周期而使用了通常的色散补偿技术之后所余下的色散斜率；（c）通过调谐上述补偿器的波长在所有波道上对色散度的微调。参照在将图 3 中表示所画出的周期性色散的周期性输出响应与波长结合起来之后的图 4，并参照表示本发明的基本上相反的色散斜率的图 6，示出了图 4 的最终的颜色输出响应。应该注意，因图 3 中示出了其输出的WDM装置与本发明G T补偿器之间的中心波道波长略有偏差或不同，所以出现了平坦的输出响应。为了获得零色散，中心波道波长应该是相对应的。尽管如此，可当作是本发明的优点来使用这一特征。例如，通过改变G T色散补偿器的标准具端面间的光路长度，可将波道的中心波长改变成略高或略低的波长。可通过改变输入光的角度或通过使G T装置的温度发生变化例如通过将加热器设置到标准具附近以加热该装置或者相反通过制冷以减少光路长度而实现这种调谐。因此，在通过提供靠微调G T谐振腔光路长度而进行的需要

的平坦色散补偿从而对所述系统内光纤中出现的平坦但存在的色散进行补偿时，可通过设置可调谐的温度可调谐式GT装置而对具有周期性色散的WDM装置进行色散补偿。

以下参照图19、20a和20b、21a至21c、22a和22b说明本发明另外的最佳实施例。参见图19，将两个GT标准具191和192概略地表示为彼此以光学的方式耦合。第一标准具191是一多谐振腔标准具，第二标准具192是一多谐振腔标准具，其谐振腔数量多于第一标准具191的谐振腔数量。所述标准具是耦合的，因此，发射进标准具191的光束在该标准具内传播并在被反射出GT标准具191之后进入第二标准具192。然后将现有的光束第二次发射进标准具192。图20a和20b的曲线图分别示出了作为标准具191和192的波长的函数而画出的色散的输出响应曲线。图20a的标准具是一种双谐振腔结构，其反射镜的反射率为0.85%、24%和99.8%，图20b的标准具是一种三谐振腔结构，其反射镜的反射率为0.04%、2.3%和99.8%。在这两种情况下，所有的标准具的间隔层均是相等的。图20a中所看到的是，需要加以补偿的感兴趣波长即 $1.5613\mu\text{m}$ 和 $1.5615\mu\text{m}$ 之间的色散曲线的斜率在于该斜率是负的并且是减少的。相反，在图20b中，在同样波长范围之间，所述斜率是负的并且是增加的。所述色散波长曲线的图中示出的斜率是就单通而言的；但是，组合起来的响应是所述的两倍。如果滤波器191和192被选定成能产生这样的响应曲线，该曲线在符号上是相反的并在工作波长的范围内的任何给定波长下均基本上有与符号无关的相同的数量即同样的绝对值，那么组合起来的色散输出响应会是斜率基本上为零的平坦色散曲线。如果所述标准具中的一个比另一个产生更多的色散并且色散在符号上是相反的，那么来自包括两个GT标准具的装置的整个色散均为单调增加或减少。图21a至21c均示出了三条曲线，其中，虚线曲线表示另两个实线和点划线曲线的组合起来的响应，从而表示两个层叠起来的诸如图19中所示的色散补偿滤波器的输出响应。通过略微改变标

准具的一个或两个的 FSR，可使标准具的输出响应沿波长略微移动，从而会有效地获得这样的结果即：使色散响应曲线按彼此相向或离开方向相对移动。这实际上是调谐以提供不同色散量。只要相反的色散斜率在有关的波长范围内有相同的数量，则响应就会是平坦的。由于色散在两次响应之间是叠加的，故给定波长的色散总量是两个滤波器 191 和 192 所导致的两种色散的和。在图 21a 中，通过调谐标准具并使输入响应如图所示那样相对齐以便在有关的波段上获得为  $+200 \text{ ps/nm}$  的较为恒定的色散，从而能获得最大的色散。在图 21b 中，在相同的有关波段上获得为  $-200 \text{ ps/nm}$  的最小色散。在所示的实施例中，标准具 192 是可调谐温的，并且，其色散输出响应（曲线）可相对标准具 191 的色散输出响应位移。这就会导致值为  $+/-200 \text{ ps/nm}$  的可变且基本上为平坦的色散，这种色散在预定的波段上是可控的。但是，适当结构的标准具须彼此耦合，以获得预定的输出响应。优选的是，GT 标准具的 FSR 与 ITU 栅格间距相匹配，因此，192 THz 至 196 THz 之间的所有波道均受同样受控且可变的色散的影响。

在本发明的另一个实施例中，标准具 191 和 192 会有 FSR 中的不匹配，从而会提供一种有色散响应的装置，所述色散响应随波道的不同而变化。例如，所述色散可从 196 THz 的  $95 \text{ ps/nm}$  变化成 192 THz 的  $-95 \text{ ps/nm}$ 。这总会在由通常的色散补偿光纤进行了色散补偿之后对 150 km 的 SMF28 光纤的其余色散斜率作补偿。

图 22 是一框图，它说明了使用本发明可调谐式色散补偿器的色散控制系统。

在典型的应用中，光信号经由光纤链路从发射器经去复用器前进至色散补偿光纤并射向可调谐色散补偿器 220。在进入可调谐色散补偿框 220 之前，光信号需要色散补偿。光信号通过可调谐色散补偿器 220 并继续至接收器 222，在该接收器中，所述信号被转换至电信号。这种电信号（作为有用的通讯信号）继续经过网络并还到

达位错误率检测器 2 2 4 (或诸如目视图测定法之类的检测信号质量的方法)。所述位错误率检测器将反馈信号提供给可调谐色散补偿器控制器 2 2 6。然后, T D C 控制器 2 2 6 判断是否需要对比色散进行调整或者先前的调整是改进信号还是使信号变差了。

本发明提供了一种补偿器, 该补偿器可在有关的波段上调谐成多种不同的恒定色散值或者提供单调增加或减少的色散值, 这些值可在有关的波段上先后地增加或减少。

# 说明书附图

图1

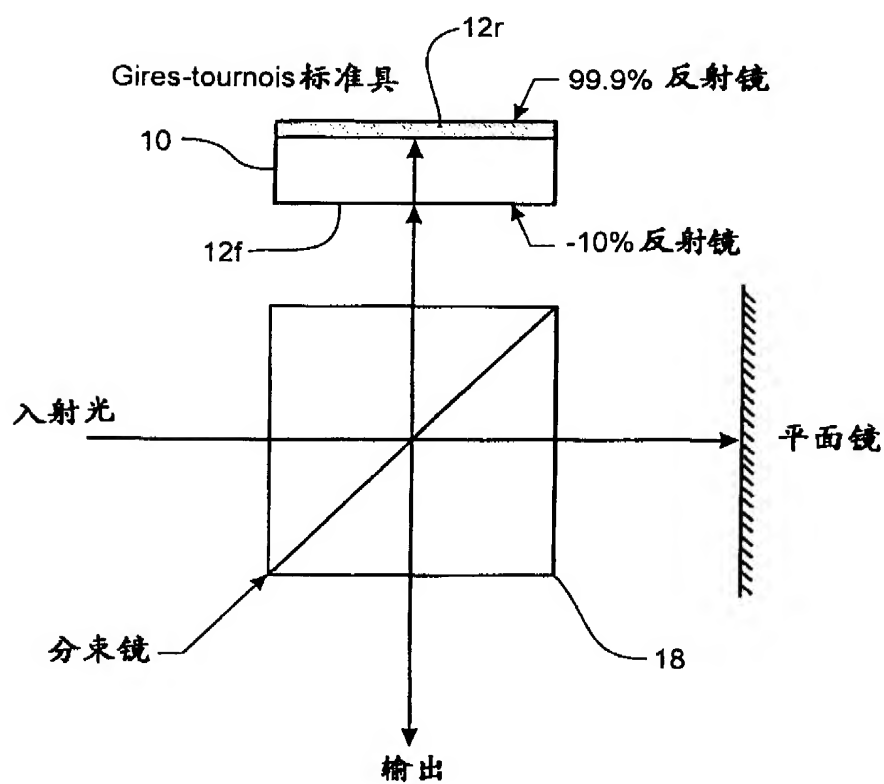


图2

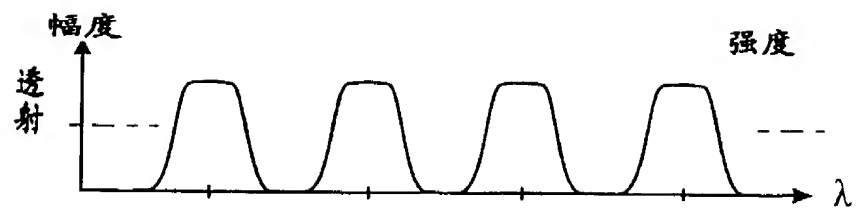


图3

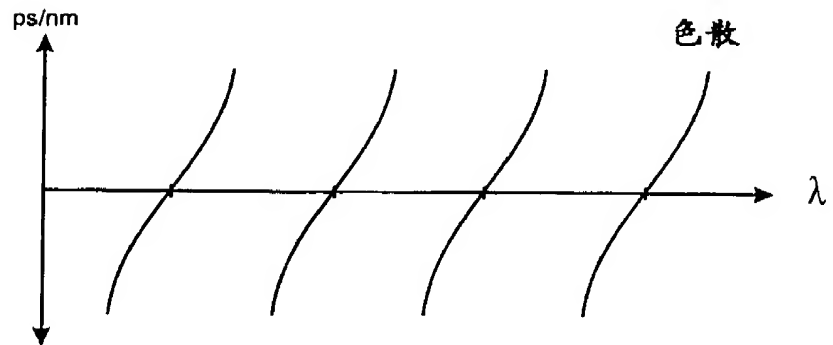


图4



图5

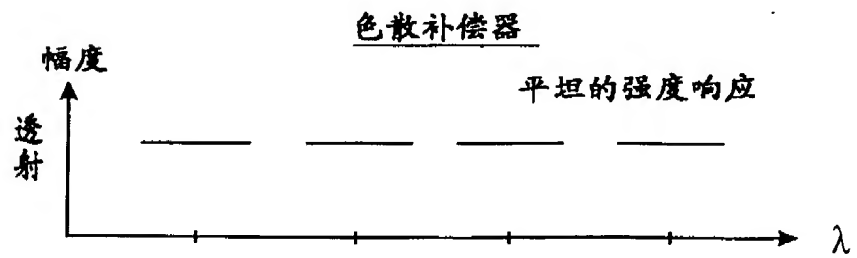


图6

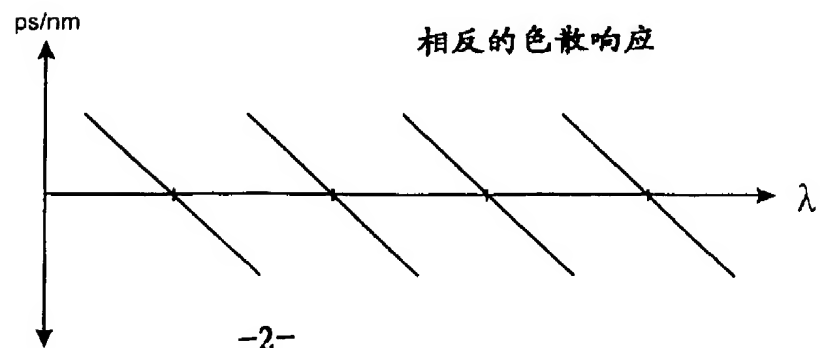


图7

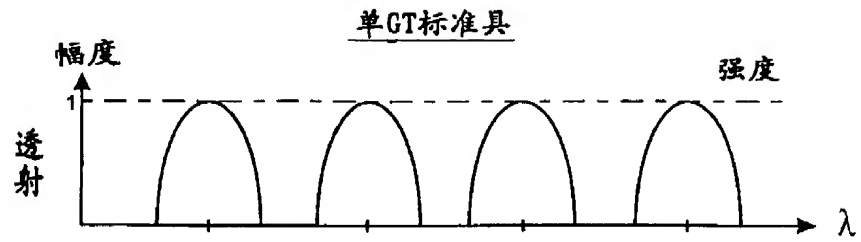


图8

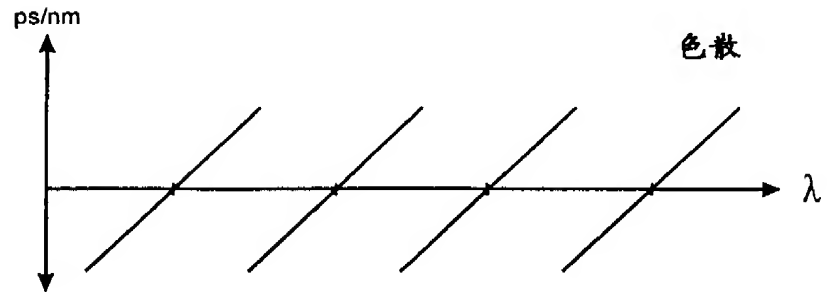


图9

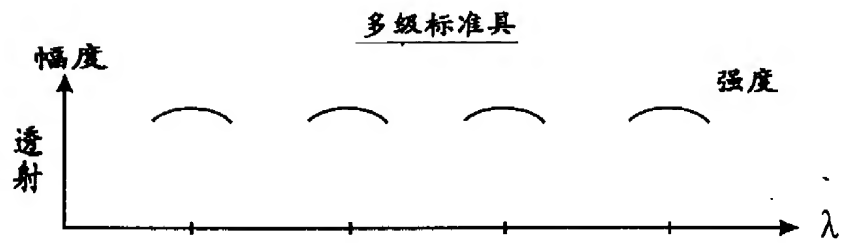


图10

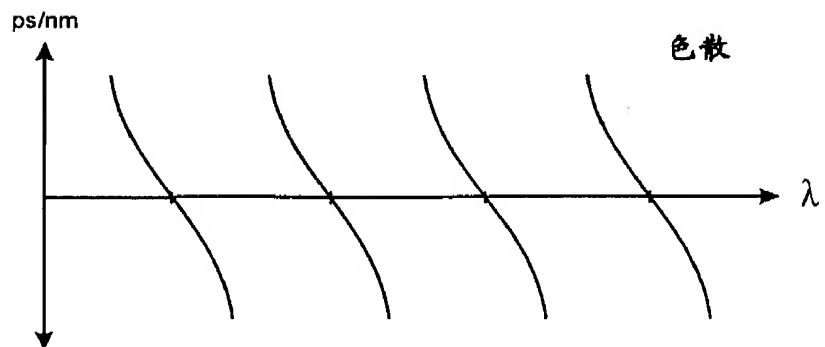


图11

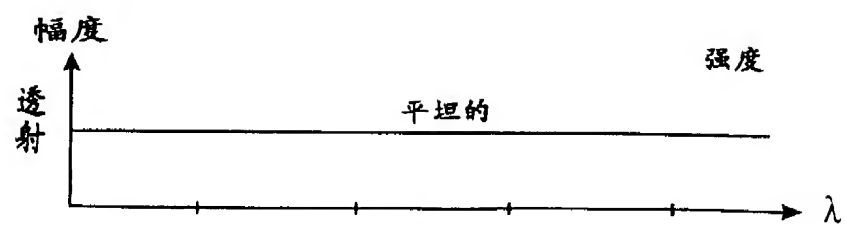


图12

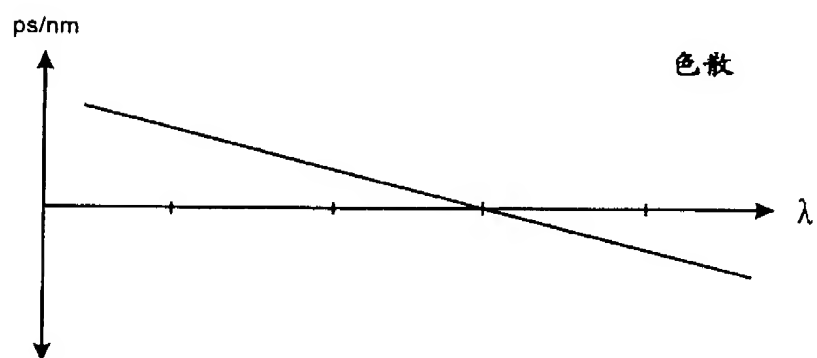




图13

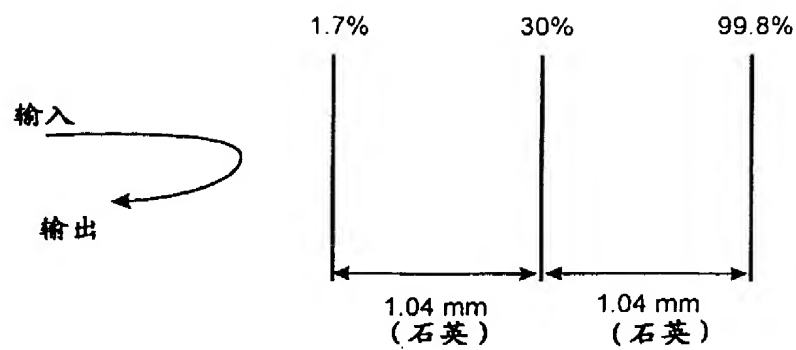


图14

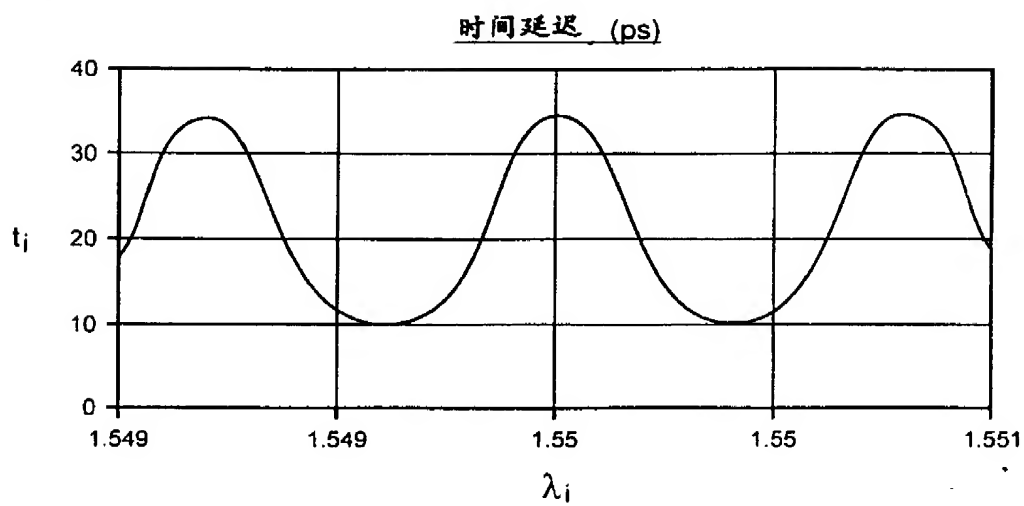


图15

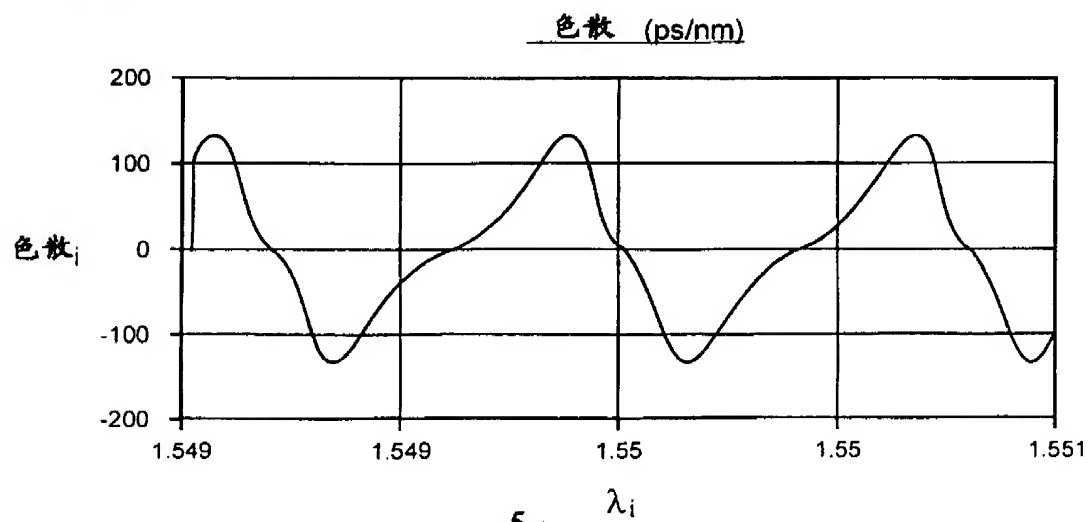


图16a

双通50GHz数字复用器的损耗

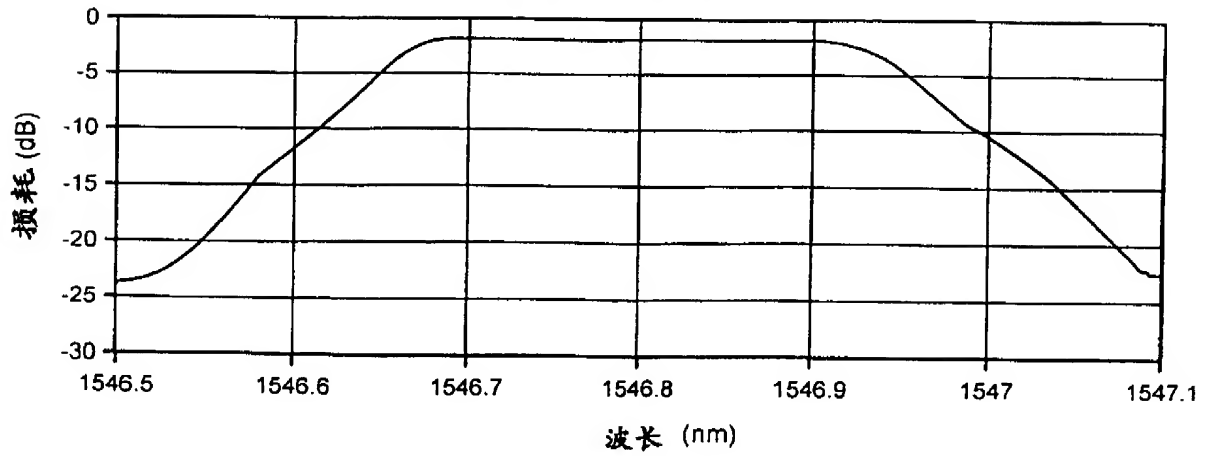


图16b

双通50GHz数字复用器的组延迟

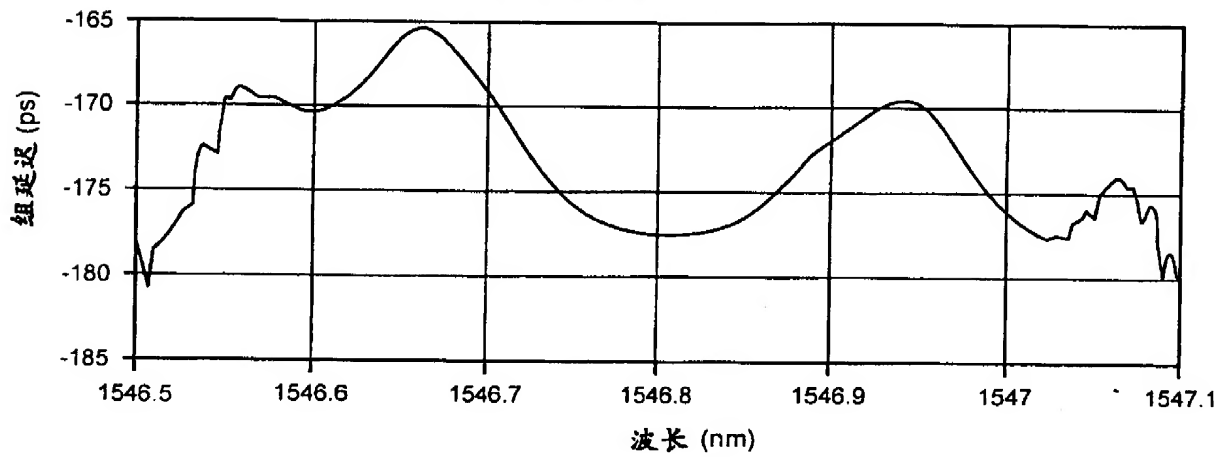


图16c

双通50GHz数字复用器的色散

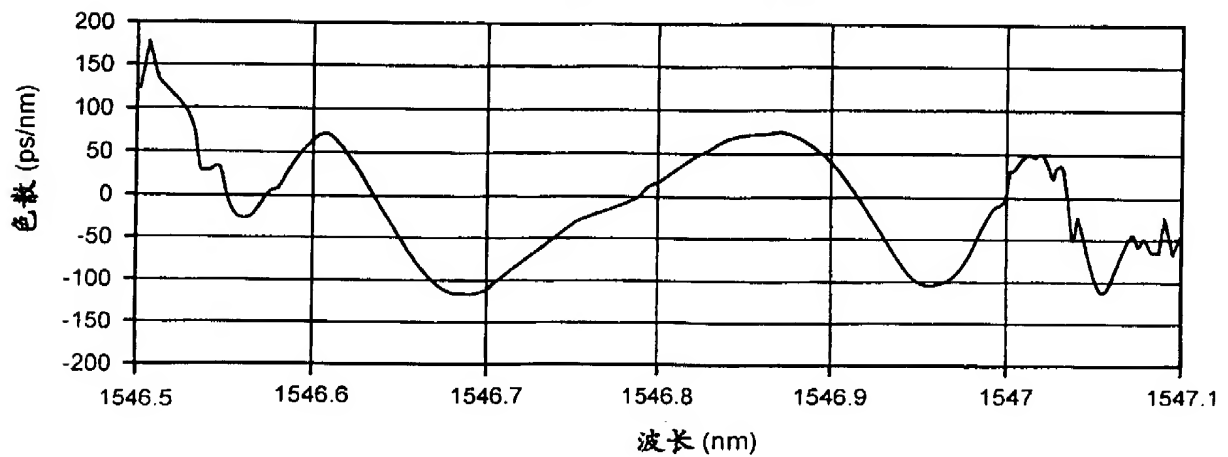


图17a

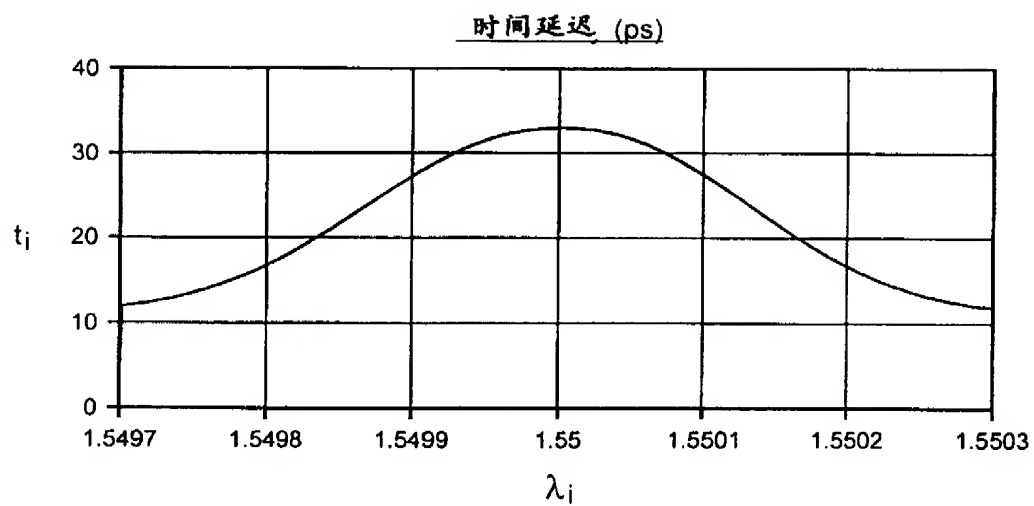


图17b

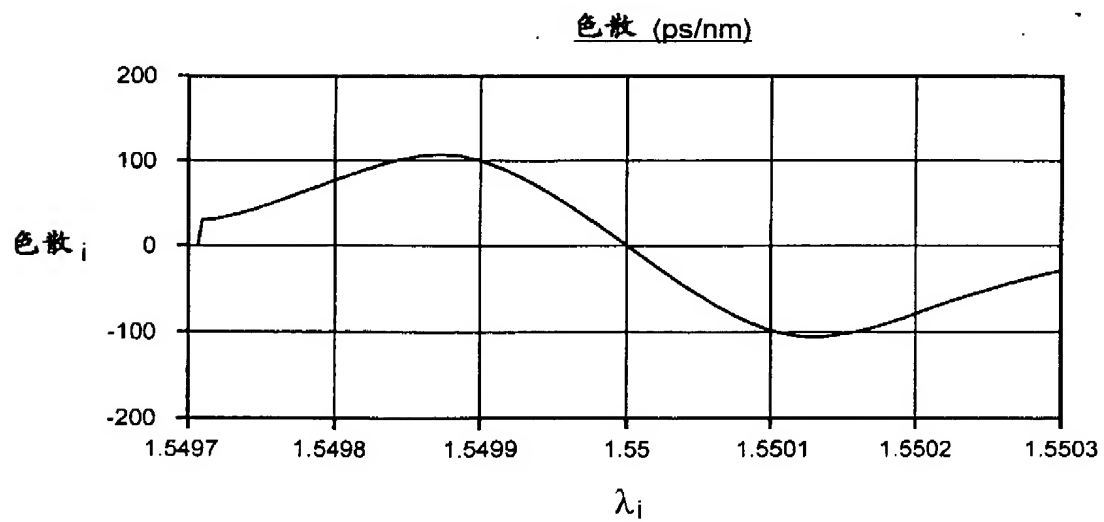


图18a

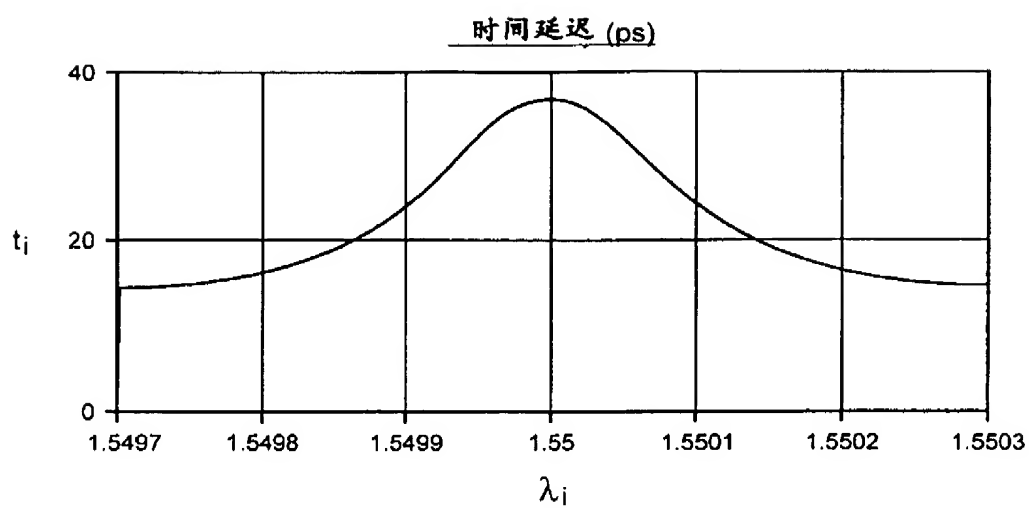


图18b

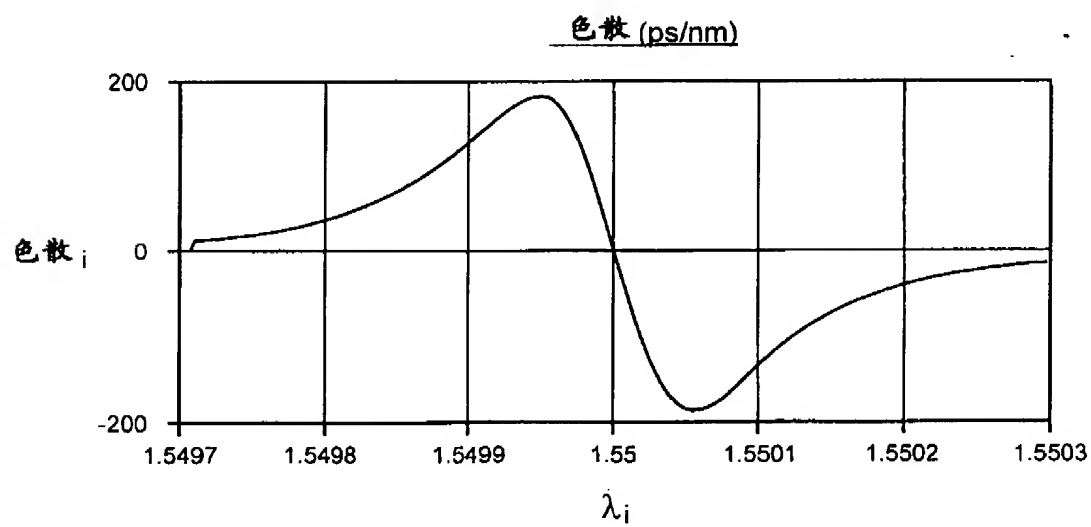


图19

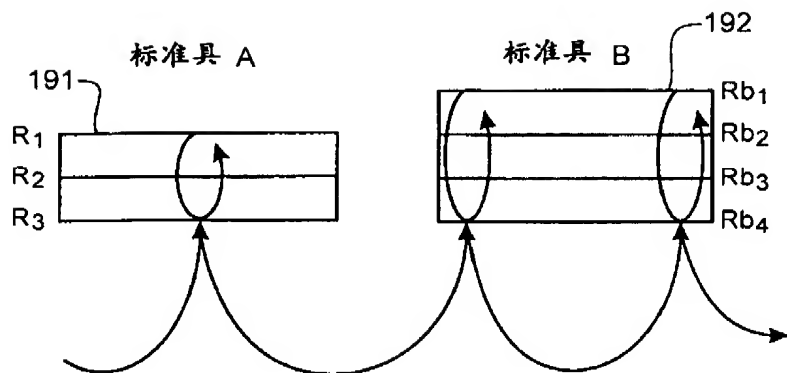


图20a

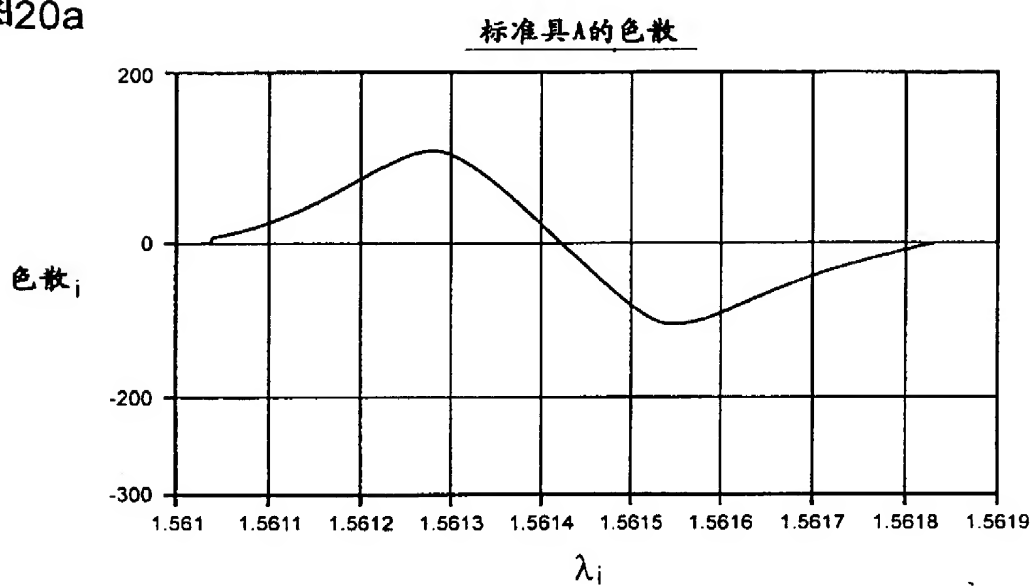


图 20b

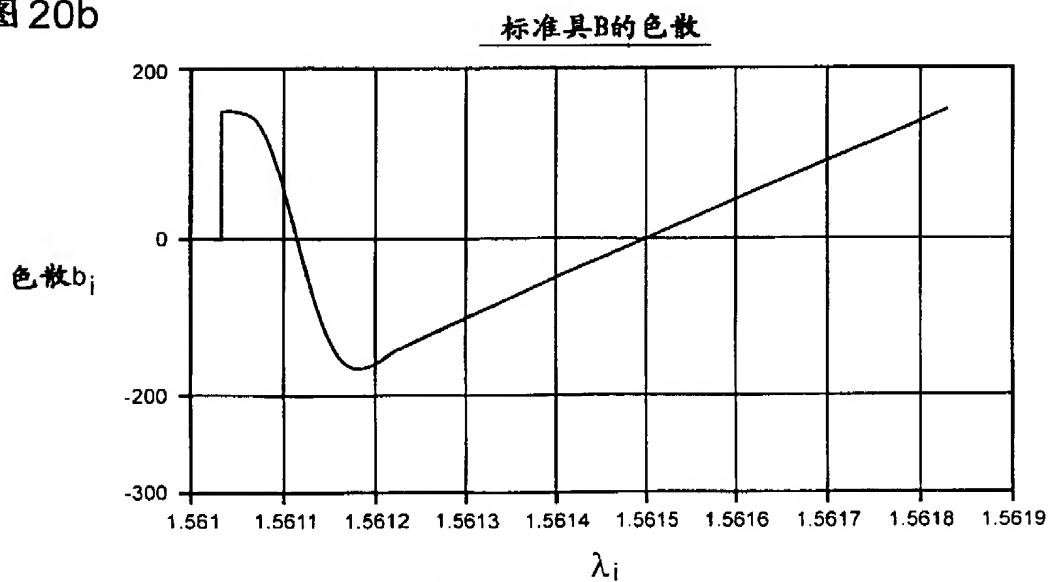


图 21a

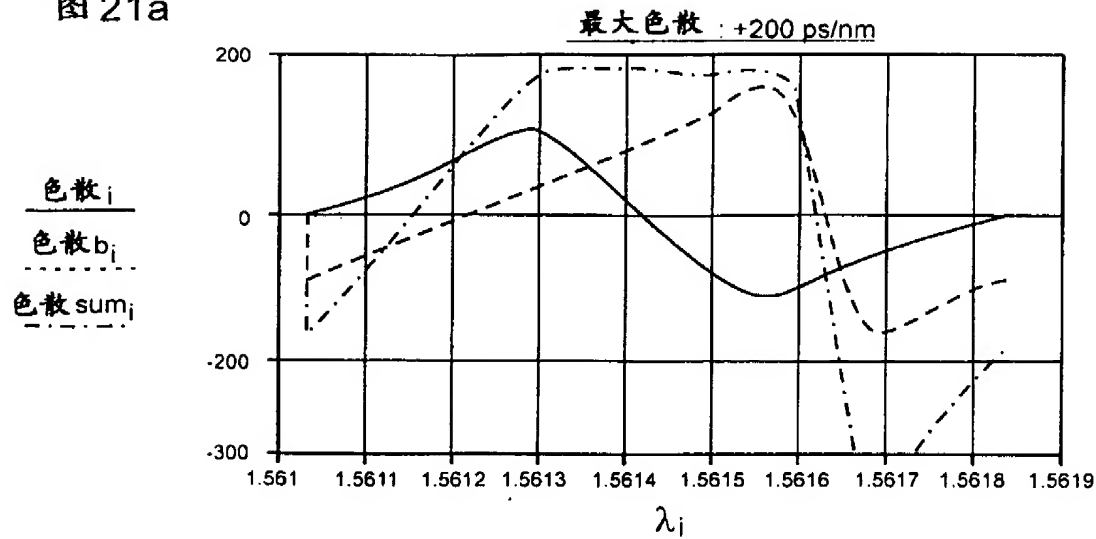


图 21b

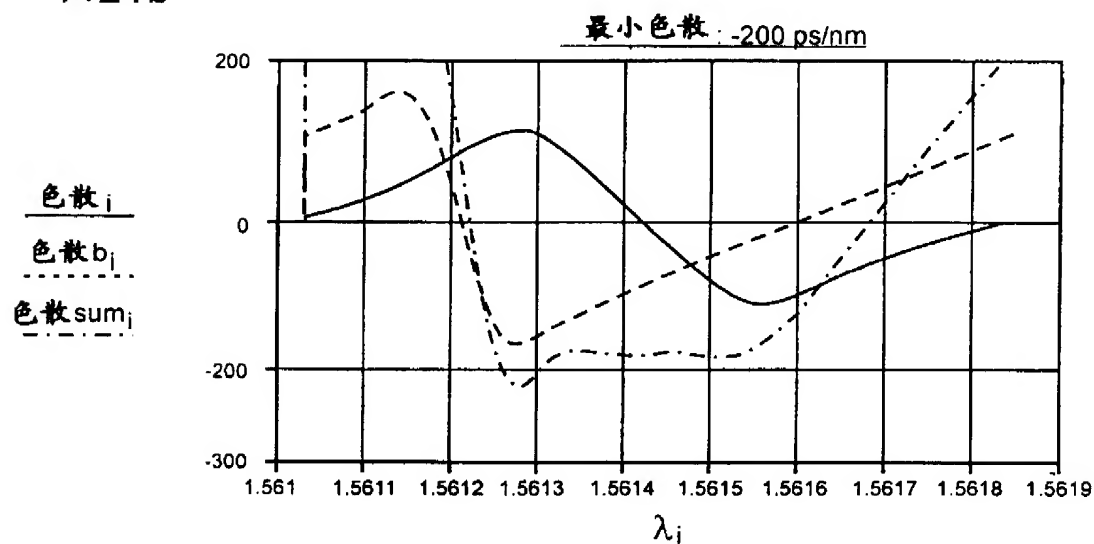


图 21c

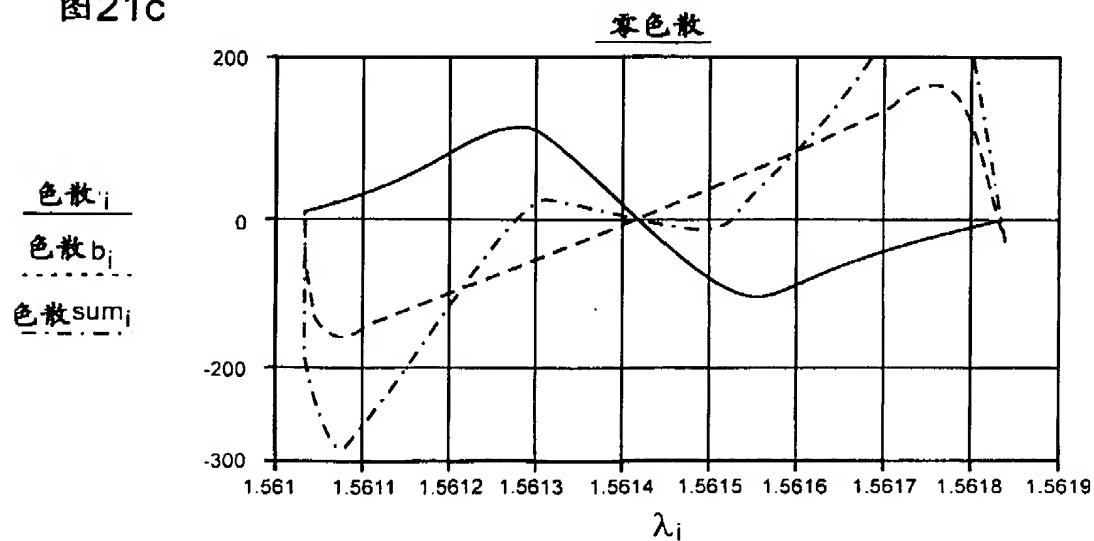


图22

